

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-25949

(P2002-25949A)

(43) 公開日 平成14年1月25日 (2002.1.25)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 1 L 21/304	6 1 1	H 0 1 L 21/304	6 1 1 Z 4 E 0 6 8
B 2 3 K 26/00	3 2 0	B 2 3 K 26/00	3 2 0 E

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-210192(P2000-210192)

(22) 出願日 平成12年7月11日 (2000.7.11)

(71) 出願人 000205041

大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(71) 出願人 000190149

信越半導体株式会社

東京都千代田区丸の内1丁目4番2号

(72) 発明者 大見 忠弘

宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2の1の17の301

(74) 代理人 100102532

弁理士 好宮 幹夫

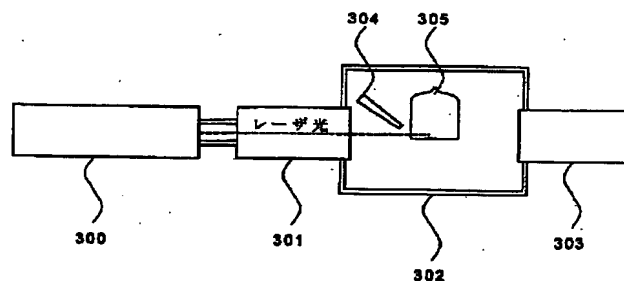
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 単結晶の切断方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 レーザー加工を用いてシリコン単結晶を切断する切断方法において、良好な切断面を得るとともに切断ロスを極めて少なくして単結晶を加工する。

【解決手段】 単結晶の切断方法であって、単結晶の構成原子と反応して安定な気体分子となる気体分子またはラジカルを含むガスをノズル304により切断部近傍に供給しつつ、切断部に超短パルスレーザーを301照射して単結晶を切断する。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項1】 単結晶の切断方法であって、単結晶の構成原子と反応して安定な気体分子となる気体分子またはラジカルを含むガスを切断部近傍に供給しつつ、切断部に超短パルスレーザを照射して単結晶を切断することを特徴とする単結晶の切断方法。

【請求項2】 前記超短パルスレーザがエキシマレーザであることを特徴とする請求項1に記載の単結晶の切断方法。

【請求項3】 前記超短パルスレーザがモード同期型Qスイッチレーザであることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の単結晶の切断方法。

【請求項4】 前記ラジカルは水素ラジカルであることを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載の単結晶の切断方法。

【請求項5】 前記水素ラジカルはガス中の濃度を10%以下とすることを特徴とする請求項4に記載の単結晶の切断方法。

【請求項6】 前記単結晶はシリコンであることを特徴とする請求項1ないし請求項5のいずれか1項に記載の単結晶の切断方法。

【請求項7】 切断代が5 μm 以下であることを特徴とする請求項1ないし請求項6のいずれか1項に記載の単結晶の切断方法。

【請求項8】 前記単結晶から、単結晶ウエーハの厚さ(μm)/単結晶ウエーハの直径(mm) ≤ 3 として単結晶ウエーハを切断することを特徴とする請求項1ないし請求項7のいずれか1項に記載の単結晶の切断方法。

【請求項9】 前記単結晶から、主表面が単結晶の[100]軸に対し、[011]方向に α ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$)、[01-1]方向に β ($0^\circ < \beta < 90^\circ$)、

[10-1]方向または[101]方向に γ ($0^\circ \leq \gamma < 45^\circ$)の傾斜角度を有する面または該面と等価面となるように単結晶ウエーハを切断することを特徴とする請求項1ないし請求項8のいずれか1項に記載の単結晶の切断方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、単結晶をレーザを用いて切断する方法において、切断ロスを極めて少なくして単結晶を有効に利用することができる切断方法に関する。

【0002】

【従来の技術】シリコン(Si)やガリウム砒素(GaAs)に代表される単結晶ウエーハは、チョクラルスキー法(CZ法)やフローティングゾーン法(FZ法)により作製された単結晶棒(インゴット)をウエーハ状にスライスすることによって得られる。従って、スライスされるウエーハの厚さをできる限り薄くしたり、スライスによる切断代を少なくすることによって、1本のイン

2

ゴットから製品ウエーハをより多く得ることが望まれる。すなわち、ウエーハの厚さやウエーハ製造プロセスの加工ロスを低減することにより原料の無駄をなくし、製造コストを下げるという課題は従来から広く認識されていた。

【0003】例えば、シリコン単結晶棒からシリコンウエーハをスライスする装置としては、ワイヤソーと内周刃による切断装置が最も一般的に用いられている。しかし、これらの装置を用いてシリコンウエーハを切り出す際には切りしろが必要であるため、原料の切断ロスが発生する。切断ロスが比較的少ないワイヤソーを用いても、ウエーハ1枚当たり200 μm 程度の切断ロスが避けられなかった。また、ワイヤソー、内周刃等による切断は、切断後に切断面にダメージ層が残ってしまうため、このダメージ層を除去するためのラッピング、エッチング等が必要となり、これによっても原料のロスが生じる。さらに、このような機械的加工では、原料インゴットからあまりウエーハを薄く切り出すと、加工工程中にウエーハに割れが生じ易くなるため、ウエーハを厚めに切り出してから、最終的にデバイスが作製された後にバックラップ、またはバックグラインドをしてウエーハを所望の厚さに加工する必要がある。そのため、高価な単結晶材料のかかなりの部分を無駄に捨ててしまうことになる。

【0004】一方、単結晶インゴットの切断を、他の分野の溶接や切断に広く用いられているレーザ加工によって行うことも考えられていた。一般にレーザ加工は従来行われてきた機械的な加工に比べて精度が高く、正確な加工が可能であり、原料の無駄が少ないという利点がある。しかし、レーザ加工は発熱による溶解などの問題が生じ、切断部周辺が変質したり、加工痕が残ってしまうという欠点があった。そのため、レーザ加工を μm レベル以下の加工精度が要求される半導体加工に応用することは難しかった。

【0005】この問題を解決しようとして、半導体単結晶切断に適応可能な超短パルスレーザの開発が進んでいる。数十フェムト秒程度のパルス長の超短パルスを用いた加工を行うと、励起時間が原子振動の緩和時間と同レベルとなり、発熱することなく原子間結合そのものを切断することが出来る。したがって、発熱による溶解とは異なり周辺部の変質や加工痕がなく、照射した部位のみの高精度加工が可能となる可能性がある。さらに、エキシマレーザのような短波長レーザを用いると、光子エネルギーが原子結合を切断する際に必要なエネルギーに匹敵するため、高い量子確率が得られ高速・高効率加工が可能となる。同時に、超短パルスに圧縮したレーザはパルスの最大パワーが極めて大きくなるため、2光子吸収などの非線形光学効果により、より効果的な加工が可能である。

【0006】しかし、このような超短パルスレーザによ

(3)

3

る切断方法には、レーザ切断により除去した原子状物質が加工側壁等に再付着したり、切断面の平坦性が得られなかったりして加工形状が劣化するという問題があった。そのため、エキシマレーザ等によるレーザ切断法をシリコン等の単結晶の切断にそのまま適用しても、高速・高効率加工が可能であるというレーザ切断の利点を活かすことができず、機械的加工であるワイヤソーや内周刃と比較しても、単結晶切断における歩留りを向上させることはできなかった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】そこで本発明は、レーザ加工を用いて単結晶を切断する切断方法において、良好な切断面を得るとともに切断ロスを極めて少なくして単結晶を切断する方法を提供することを主たる目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する本発明は、単結晶の切断方法であって、単結晶の構成原子と反応して安定な気体分子となる気体分子またはラジカルを含むガスを切断部近傍に供給しつつ、切断部に超短パルスレーザを照射して単結晶を切断することを特徴とする単結晶の切断方法である（請求項1）。

【0009】このように切断部に超短パルスレーザを照射すると同時に、単結晶の構成原子と反応して安定な気体分子となる気体分子またはラジカルを含むガスを切断部近傍に供給することにより、切断加工により生じた原子状物質を安定な気体原子として排出することができるため、超短パルスレーザ切断により除去した原子状物質が切断面等に再付着し、切断面の平坦性が得られなかったり加工形状が劣化することなく単結晶の切断が可能となる。そのため、原料の無駄が少なく、高速・高効率加工が可能であるという超短パルスレーザ切断の利点を活かして単結晶を切断することができる。

【0010】この場合、前記超短パルスレーザがエキシマレーザであることが好ましい（請求項2）。このように、エキシマレーザを用いれば、切断部周辺に溶解による変質や加工痕が残ることがなく、単結晶を切断することができる。さらに光子エネルギーが原子結合を切断する際に必要なエネルギーに匹敵するため、高い量子確率が得られ高速・高効率加工が可能となる。

【0011】この場合、前記超短パルスレーザがモード同期型Qスイッチレーザであることが好ましい（請求項3）。このように、超短パルスレーザがモード同期型Qスイッチレーザであれば、超短パルス形成の際にも、低いエネルギー供給によって超短パルスを連続的励起状態として得ることができ、単結晶切断におけるエネルギー消費を少なくすることができる。

【0012】この場合、前記ラジカルは水素ラジカルとすることができる（請求項4）。このように水素ラジカルであれば、触媒により容易にラジカルとすることがで

4

き、取り扱いも容易であるし、効率よく切断時に発生した原子状物質を除去することができる。

【0013】この場合、前記水素ラジカルはガス中の濃度を10%以下とすることが好ましい（請求項5）。このように水素ラジカルはガス中の濃度を10%以下に希釈した状態でラジカル供給することにより、ラジカルの寿命を可能な限り長くすることができる。より好ましくは0.1~5%とすることが好ましい。

【0014】この場合、前記単結晶はシリコンとすることができる（請求項6）。このように、単結晶ウエーハが半導体シリコンであれば、現在最も汎用されている半導体であるので、製造コストの低減による効果は非常に大きいものとなる。

【0015】この場合、切断代が5 μ m以下であるものとすることができる（請求項7）。このように、本発明の切断方法はレーザ加工により単結晶を高精度で良好な切断面で切断することができるので、従来に比べて切断代を極めて少なくすることができる。

【0016】この場合、前記単結晶から、単結晶ウエーハの厚さ（ μ m）／単結晶ウエーハの直径（mm） ≤ 3 として単結晶ウエーハを切断することができる（請求項8）。このように、本発明の切断方法はレーザ加工により単結晶を高精度で良好な切断面で切断することができるので、単結晶ウエーハの厚さ（ μ m）／単結晶ウエーハの直径（mm） ≤ 3 といった極めて薄いウエーハを切り出すことができる。

【0017】この場合、前記単結晶から、主表面が単結晶の[100]軸に対し、[011]方向に α （ $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ ）、[01-1]方向に β （ $0^\circ < \beta < 90^\circ$ ）、[10-1]方向または[101]方向に γ （ $0^\circ \leq \gamma < 45^\circ$ ）の傾斜角度を有する面または該面と等価な面となるように単結晶ウエーハを切断することが好ましい。

【0018】これは、近年、シリコンウエーハの表面の面方位に依存することなく、良質な絶縁膜を形成する手法が開発されたため（2000 Symposium on VLSI Technology, Honolulu, Hawaii, June 13th-15th, 2000 'Advantage of Radical Oxidation for Improving Reliability of Ultra-Thin Gate Oxide' 参照）、必ずしも半導体デバイスを作製するウエーハの面方位を従来の[100]面に限定する必要がなくなったためである。そこで、上記で規定したような面方位となるように単結晶から単結晶ウエーハを切断すれば、劈開面となる全ての[110]面からウエーハの主表面が傾斜したものとなるため、ウエーハを薄く切断したとしても、ウエーハが割れにくいものとなる。従って、本切断方法により、このような面を有するウエーハを切り出せば、切断ロスが減少するのみならず、出来た薄いウエーハは割れにくく、デバイス工程等の実用に十分に耐えるものとなる。なお、本発明の切断方法は単結晶の面方位依存性がないため、このよう

(4)

5

な面で切断したとしても原子オーダーの平坦加工が可能である。

【0019】以下、本発明をさらに詳細に説明する。本発明者は、シリコン等の単結晶から薄いウエーハを高精度、高効率で切断することにより単結晶を効率良く利用することができる方法について検討を行った。前記のように、単結晶をエキシマレーザ等の超短パルスレーザで切断すれば、単結晶の原子結合そのものを切断することができるため、照射した部位のみの高精度加工が可能である。ところが、このようなレーザ加工では除去した原子状物質が加工側壁等に付着してしまう問題点があり、加工面の平坦性が悪化するという問題があった。

【0020】そこで、本発明者は、切断部に超短パルスレーザを照射して単結晶を切断する際に、加工により除去された原子状物質と反応して安定な気体分子となる気体分子またはラジカルを含むガスを切断部近傍に供給し、加工により除去された原子状物質を安定な気体分子とすることにより、除去した物質の加工面への付着を防止することを発想した。

【0021】このようにすれば、簡単な方法によって切断面からレーザ加工により除去された原子状物質が切断面に再付着することを防止することができる。具体的には、例えばシリコン単結晶を切断する場合には、その切断面にアシストガスとして水素ラジカルを含むガスを供給し、切断部にエキシマレーザを照射して単結晶を切断する。Si-Si結合を超短パルスレーザにより切断すると不要な原子状のSiが放出されるが、このSiは水素ラジカルと反応して不活性なSiH₄ガスとなる。そして、このSiH₄ガスを排気してしまえば、良好な切断面で効率良く切断することができる。本発明はこのような基本思想に基づき、諸条件を検討の結果、完成したものである。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【0023】本発明においては、割れにくい薄いシリコンウエーハをシリコン単結晶インゴットから切断するのに超短パルスレーザを用いる。本実施形態における超短パルスレーザの照射は、連続励起および非線形光学素子によるモード同期型Qスイッチエキシマレーザにより行う。エキシマの寿命は一般的にnsecオーダーと極めて短く、たとえばKrFエキシマで6nsec程度である。したがって、有効なQスイッチレーザとして動作させるために共振器長を1.5m程度以下に設定する。これによりレーザの1パスに要する時間が5nsec程度以下に設定できるため、寿命が極めて短いエキシマレーザにおいても効率よくQスイッチ動作を行うことが出来る。すなわち、エキシマの寿命と同程度の走査時間を持つような共振器を設計することにより、Qスイッチレ

6

ザとして通常は不適であるエキシマレーザを効率よく励起することができる。

【0024】従来使用されているDCパルス励起型のエキシマを連続励起しようとするときガW級の電力供給が必要となり、超短パルス形成には不適當である。これを回避するために、レーザの共振器のQを上げ、マイクロ波励起型の連続励起プラズマを使用する。レーザのQを上げるために、出力鏡の反射率を100%に近い反射率に設定する。これにより、1パスに必要なゲインを下げることが可能となる。また、同時に発光断面積を1mm²から10mm²程度にすることで、たとえばKrFエキシマレーザ励起に必要な飽和強度1.3MW/cm²という極めて高い励起強度を、低いエネルギー供給によって連続的励起状態として得ることができる。従来の電極を使用した励起方式では小体積にすることによって、放電が不安定もしくは不均一となっていたが、マイクロ波により励起を行うことで安定した均一な励起をすることが可能となる。また、マイクロ波励起を効率よく行うためには定在波による励起の局在を抑制する必要がある。本実施形態に示す均一化機構付H面アンテナによる同位相単一スリット放射装置によれば均一な励起を行うことができる。

【0025】図1に均一化機構付H面アンテナによる同位相単一スリット放射装置100の放射構造を示す。H面アンテナ101に供給されたマイクロ波がスロットアレイ102を介して均一化機構103に供給される。その際スロットアレイ102を管内波長の半波長ピッチにH面アンテナ101中央から左右に設置することで全スロット102からの放出マイクロ波を同位相にすることができる。スロットアレイ102から同位相で放出されたマイクロ波は均一化機構103で均一化され、単一スロット104で均一なマイクロ波の放出が行われる。なお、放電形状によっては、均一なマイクロ波放電を実現するのにホーンアンテナ等を用いてもよい。

【0026】この励起方式を用いた共振器に過飽和吸収体を導入することにより、エキシマレーザのモード同期Qスイッチレーザが実現される。モード同期方式では受動モード同期であるため容易にフーリエ変換限界に近い超短パルス光(KrFにおいて80fsec程度)を得ることが可能である。このような装置構成を用いることで、高繰返し(繰返し周波数サブGHz)、超短パルス(psecからfsecオーダー)、大電力パルス(ギガWからテラW級)のエキシマレーザ(高エネルギー光子)を得ることが可能となる。

【0027】図2にさらに詳細な装置構成を示す。上下に配置された均一化機構付H面アンテナによる同位相単一スリット放射方式によりプラズマ204を励起する。また完全反射もしくはそれに近い反射率を持つ反射体200および202(ここでは反射鏡として図示)を配置

(5)

7

した後、共振器中に過飽和吸収体201を導入する。このような装置構成をとることにより、エキシマレーザのモード同期Qスイッチレーザが実現される。なお、反射体としては安定性を確保するために反射鏡の利用が望ましい(XeCl, KrF, ArFレーザ)が、仮に高反射率のミラーがない場合(F₂レーザ)などは全反射プリズムを用いることで高いQを持つレーザ共振器を実現してもよい。

【0028】このようにして得られた本レーザを用いて、図3のようにシリコンウエーハの加工を行う。加工に使用するレーザのビーム形状は点状もしくは線状である。このビーム形状はレーザ発振器300の出力以降に設置された集光光学系301を用いて整形する。ビーム径・幅は波長の10倍程度以内、すなわちたとえばKrFレーザの場合、3 μ m程度以内にする。したがって、実現可能な加工径・幅は、5 μ m程度となり無駄のない加工が可能となる。なお、この光学系に使用するレンズは重金属等の濃度を完全に制御した高純度CaF₂等が用いられる。また、ビームの集光は可能な限り最終段(レーザ出力側)に近い程、レンズやミラー等へのダメージが軽減されることは言うまでもない。また、加工物の2次側には終端光学系303が配置される。終端光学系303においては平坦度の高いミラーを設置し、透過したレーザ光を浅い角度から斜入射させ拡散しエネルギー密度を下げたうえで、吸収体へ導入することにより終端する。また、ダイ入りの水などにレーザを入射し、散乱吸収する方式を用いることも出来る。

【0029】加工の際の雰囲気、すなわちプロセスチャンバ302の内部は、酸素などによる焼けを防ぐためにArやN₂などといった不活性な高純度ガスとする。ここで、本発明の切断方法の特徴は、高速加工・原子オーダーの平坦面を得るために水素を添加したガスをノズル304により供給することである。この水素をラジカル化し、切断加工により生じた原子状シリコンと水素ラジカルとを反応させ、不活性なSiH₄ガスとして排気することにより、原子状シリコンの再付着を防ぎ、良好な切断面を保って切断することができる。

【0030】この水素ガスの供給量としては、例えば直径300mmウエーハを切断する際、一枚あたりの処理時間が5minであるとする、加工速度は1mm/secとなり、この場合は最大0.33SLM(Standard Liter per minute)のH₂供給が必要である。なおこの場合、光学系のロスがない場合およそ60W程度の平均レーザ出力があればよい。このH₂をArにより0.1~10%に希釈し、原子状Siとの反応性を向上するためNiやPt等の触媒を用いてラジカル化し、加工雰囲気に供給する。

【0031】この場合、ラジカルの寿命を可能な限り長くするために、10%以下に希釈した状態でラジカル供給することが望ましく、より好ましくは0.1~5%と

8

する。なお、供給濃度が高いとラジカルの発生率が低下するため、その際は触媒部分を加熱すれば発生率を改善できる。なお、1mm/secの加工速度により加工を行うと、加工面からの原子状Si(ガス)の放出速度は1.7m/sec程度に達する。従って切断面近傍にHラジカルを吹き付けるようにすると、脱離したSiは速やかにSiH₄ガスとなりウエーハ外に放出されるため、装置壁へのSiの堆積を防止することが出来る。また、この際、0.17SLM発生する反応生成物であるSiH₄は回収・再利用することができる。

【0032】また、本発明によるウエーハの切断加工は超短パルスレーザによる非接触式の切断方法であるため、従来のワイヤソー等の機械的切断方法に比べて、切断されるウエーハを極めて薄くすることができる。例えば、単結晶ウエーハを半導体シリコンから切断した場合には、従来は、直径200mmのウエーハで厚さが700~800 μ m程度のものを切断する必要があったのが、本発明の単結晶ウエーハではこれより薄くすることができ、例えば直径200mmのウエーハで厚さが600 μ m以下のものとすることも可能である。そのため、切断代が少ないことも合わせて、一本の単結晶インゴットから作製可能なウエーハ枚数が大幅に増加し、製造コスト低減が可能となる。

【0033】なお、本発明によるウエーハの切断加工は、水素ラジカルの照射により、ウエーハの面方位依存性がない原子オーダーの平坦加工を可能にしている。さらに前述のように、近年、シリコンウエーハの表面の面方位に依存することなく、良質な絶縁膜を形成する手法が開発されたため、必ずしも半導体デバイスを作製するウエーハの面方位を[100]面に限定する必要はない。そこで、本発明において薄いウエーハを切り出す際には、ウエーハの表面を劈開しやすい全ての[110]面から傾いた面方位となるようにすれば、従来の[100]面の単結晶ウエーハに比べて外部からの応力に対して割れにくく、厚さが薄いウエーハを作製することができる。

【0034】図4は、このような本発明の方法により切断する単結晶ウエーハの好ましい面方位を説明する図面である。図4中の太線で示された矢印(ベクトル)が、切り出す単結晶ウエーハの面方位(ウエーハ表面の法線方向)を示しており、[100]軸(X軸)に対し、[011]方向に α ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$)、[01-1]方向に β ($0^\circ < \beta < 90^\circ$)、[10-1]方向に γ ($0^\circ \leq \gamma < 45^\circ$)の傾斜角度を有している。

【0035】すなわち、この面方位からなる単結晶ウエーハは、劈開面である(011)面、(01-1)面、(10-1)面からそれぞれ角度 α 、 β 、 γ だけ傾斜した面を有することになり、[100]面のウエーハに比べ、外部からの応力に対する機械的強度が高くなり、より薄く切断しても割れにくいようにすることができる。

【0036】なお、本発明は、上記実施形態に限定され

50

(6)

9

るものではない。上記実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

【0037】例えば、上記実施形態では、切断部近傍に水素ラジカルを含むガスを供給し、ウエーハの表面が完全に水素終端されているが、これが必ずしも必要でない場合は、 Cl_2 、 BCl_3 、 NF_3 等の添加ガスを用いても同様の効果が得られる。さらに、加工される単結晶はSiに限られるものではなく、たとえばGaAs、GaP、InP、各種酸化物単結晶、石英等も切断部に供給する加工ガスを適宜選択(H_2 、 CCl_4 、 CH_3Br 、 HCl 等)することにより同様に加工できることも言うまでもない。

【0038】

【発明の効果】以上のように、本発明の単結晶の切断方法によれば、超短パルスレーザー光を照射し原子結合を切断する加工を行うと同時に、加工雰囲気加工材料構成原子と安定な気体分子を作る気体分子もしくはラジカルを照射することにより再付着を防止し、割れにくい薄い

10

シリコンウエーハをインゴットから無駄なく平坦性よく切断することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】均一化機構付H面アンテナによる同位相単スリット放射装置の概念図である。

【図2】フェムト秒エキシマレーザー発振器の概念図である。

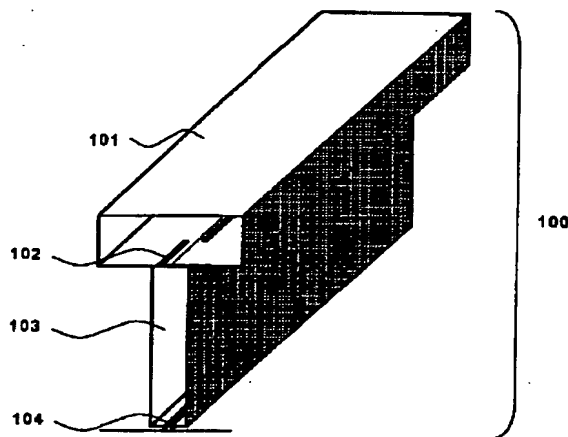
【図3】フェムト秒エキシマレーザーを用いたレーザー加工機の概略構造図である。

【図4】本発明の方法により切断する単結晶ウエーハの好ましい面方位を説明する図面である。

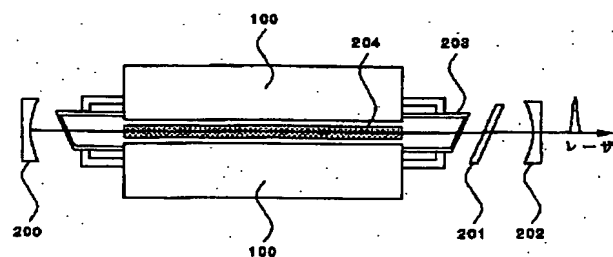
【符号の説明】

100…同位相単スリット放射装置、101…H面アンテナ、102…スロットアレイ、103…均一化機構、104…単スリット、200…反射体、201…過飽和吸収体、202…反射体、203…透過部、204…プラズマ、300…レーザー発振器、301…集光光学系、302…プロセスチャンバ、303…終端光学系、304…ノズル、305…単結晶シリコン。

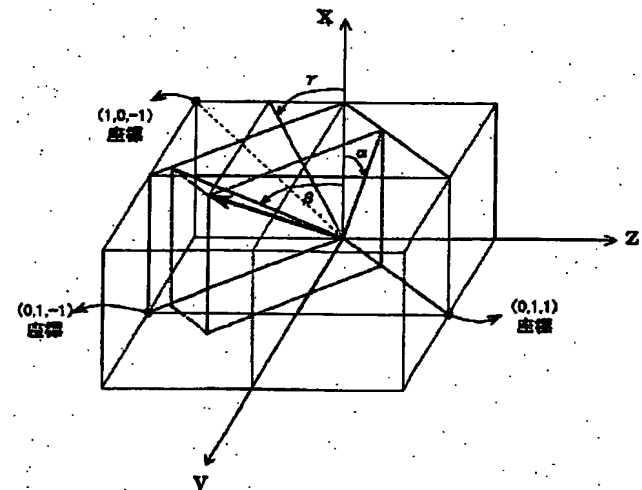
【図1】



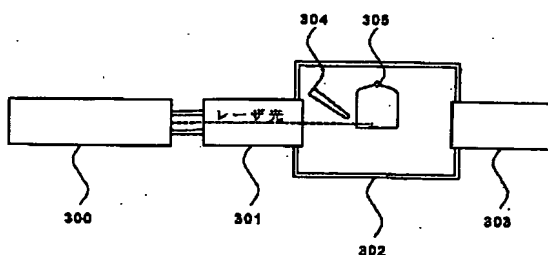
【図2】



【図4】



【図3】



(7)

フロントページの続き

(72) 発明者 須川 成利

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大
学大学院工学研究科電子工学科内

(72) 発明者 篠原 壽邦

宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉05 東北大
学大学院工学研究科電子工学科内

(72) 発明者 伊藤 辰夫

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半
導体株式会社磯部工場内

(72) 発明者 金谷 晃一

群馬県安中市磯部2丁目13番1号 信越半
導体株式会社磯部工場内

Fターム(参考) 4E068 AE01 CJ01 DA10